

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-164614
 (43)Date of publication of application : 07.06.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/065
 H01S 5/022
 H01S 5/10

(21)Application number : 2000-361859

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 28.11.2000

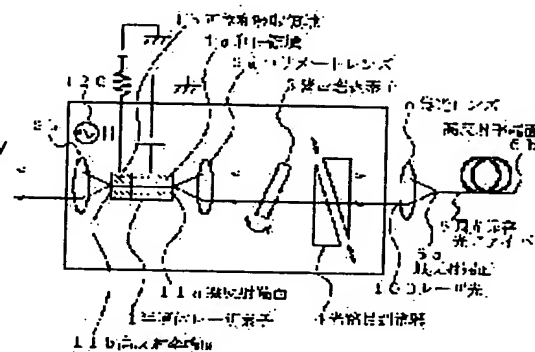
(72)Inventor : YOKOYAMA HIROYUKI

(54) EXTERNAL RESONATOR TYPE MODE SYNCHRONIZATION SEMICONDUCTOR LASER SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-sized external resonator type mode synchronization semiconductor laser system wherein oscillation wavelength is changeable, repetition frequency is at most 1 GHz and changeable, stable operation for a long time is possible, and expedient application to optical measurement is realized.

SOLUTION: In this laser system, a resonator is constituted of a semiconductor laser element and a polarization preservation optical fiber which is coupled optically with the laser element and installed to be exchangeable, and a wavelength selecting element and an optical path length adjusting device are installed in the resonator. The fiber length is so set that the repetition frequency is at most 1 GHz. All components are accommodated in a case and the temperature is controlled.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.08.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-164614

(P2002-164614A)

(43) 公開日 平成14年6月7日 (2002. 6. 7)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマト* (参考)

H 0 1 S 5/065

H 0 1 S 5/065

5 F 0 7 3

5/022

5/022

5/10

5/10

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-361859 (P2000-361859)

(22) 出願日 平成12年11月28日 (2000. 11. 28)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 横山 弘之

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100082935

弁理士 京本 直樹 (外 2 名)

Fターム (参考) 5F073 AA66 AA74 AA83 AA89 AB25

AB27 AB28 CA07 EA15 FA07

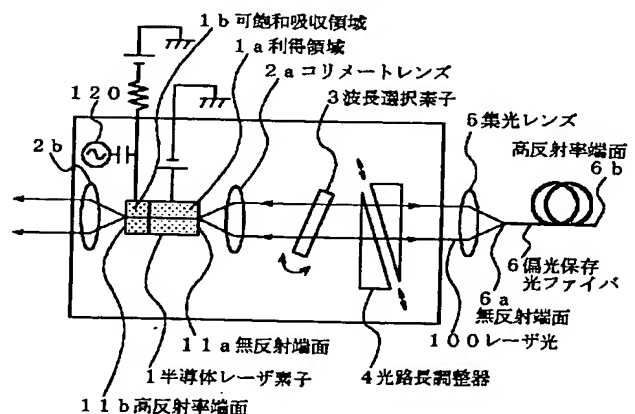
FA25 FA30 GA38

(54) 【発明の名称】 外部共振器型モード同期半導体レーザー装置

(57) 【要約】

【課題】 発振波長可変、繰り返し周波数 1 GHz 以下且つ可変で、長時間安定に動作し、光計測に適した小形の外部共振器型モード同期半導体レーザー装置を提供する。

【解決手段】 半導体レーザー素子と、半導体レーザー素子に光結合し、交換可能に設けた偏光保存光ファイバとで共振器を構成し、共振器内に波長選択素子と光路長調整器を備え、1 GHz 以下の繰り返し周波数になるようファイバ長を設定して全ての部品を筐体内に収納し、温度制御している。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体レーザ素子と、前記半導体レーザ素子に光学的に結合し、着脱自在に設けた偏光保存光ファイバとで共振器を構成し、前記共振器内に波長選択素子と光路長調整器とを備え、モード同期発振周波数が 1 GHz 以下となるように前記偏光保存光ファイバの長さが設定されていることを特徴とする外部共振器型モード同期半導体レーザ装置。

【請求項 2】 半導体レーザ素子と、一方の端面を前記半導体レーザ素子の一方の端面に光学的に結合し、他方の端面を前記半導体レーザ素子の他方の端面に光学的に結合して着脱自在に設けた偏光保存光ファイバとでリング共振器を構成し、前記リング共振器内に波長選択素子と光路長調整器と前記リング共振器から出力光を取り出す手段とを備え、モード同期発振周波数が 1 GHz 以下となるように前記偏光保存光ファイバの長さが設定されていることを特徴とする外部共振器型モード同期半導体レーザ装置。

【請求項 3】 半導体レーザ素子と偏光保存光ファイバとを 1 つの筐体に収納したことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置。

【請求項 4】 半導体レーザ素子と偏光保存光ファイバとを別々の筐体に収納し、半導体レーザ素子を収納した筐体と偏光保存光ファイバを収納した筐体を上下に着脱自在に結合したことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置。

【請求項 5】 半導体レーザ素子と偏光保存光ファイバとを別々の筐体に収納し、半導体レーザ素子を収納した筐体と偏光保存光ファイバを収納した筐体を互いに側面で着脱自在に結合したことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置。

【請求項 6】 半導体レーザ素子は、電流注入により発光・光増幅する利得領域と、入射光強度の増加に伴い光吸収が減少する可飽和吸収領域とを有することを特徴とする請求項 1～5 の何れかに記載の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置。

【請求項 7】 モード同期用の高周波電圧を半導体レーザ素子に印加する手段を有することを特徴とする請求項 1～6 の何れかに記載の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、モード同期半導体レーザ装置に係り、特に、超高速の光信号波形計測等、光計測技術において利用される超短光パルス発生光源に適した外部共振器型のモード同期半導体レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 最近、光技術の進歩により、フェムト秒オーダーの超短光パルスの発生が可能になったことか

ら、従来のサンプリグオシロスコープ等の電気的手法に換えて、超短光パルスをサンプリグゲートパルスとして超高速現象を測定する試みがなされている。

【0003】 超短光パルスをサンプリグゲートパルスに用いた光サンプリグ波形計測、例えば、光波形のアイパターン測定などの光計測においては、個々のサンプリグ値を測定するために、個々の相互相関信号光パルスを隣接パルスとの干渉なしに光電変換する必要がある。そのため、相互相関信号光パルスの繰り返し周波数、即ち、サンプリグ光パルスの繰り返し周波数を受光系の帯域以下に設定する必要上、光通信の場合と異なり、1 GHz 以下の低い繰り返し周波数の光パルス列が要求される。また、分解能の向上を図るために数ピコ秒～数フェムト秒の超短光パルスが求められている。このような繰り返し周波数が低い超短光パルス列を発生する手段の 1 つとして、図 8 に示す外部共振器を用いたモード同期半導体レーザ装置がある。

【0004】 図 8 の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置は、可飽和吸収領域 1 b 並びに利得領域 1 a を有する半導体レーザ素子 1 と、この半導体レーザ素子 1 の可飽和吸収領域側端面 1 1 b との間で外部共振器を構成する反射鏡 8 と、これら半導体レーザ素子 1 と反射鏡 8 との間に設けられ、両者を光学的に結合するためのコリメートレンズ 2 a と、このコリメートレンズ 2 a と反射鏡 8 との間に設けられた波長選択素子 3 及び折り返し反射鏡 7 とを有し、可飽和吸収領域側端面 1 1 b からコリメートレンズ 2 b を介して光出力を取り出す構成である。レーザ発振波長は、外部共振器の内部に設けられている波長選択素子 3 の、外部共振器の光学軸とのなす角度を調節することにより任意の波長に設定する。

【0005】 折り返し反射鏡 7 は、モード同期半導体レーザ装置の小型化のために設けたのであって、無くてもよい。この折り返し反射鏡 7 は、半導体レーザ素子 1 の可飽和吸収領域 1 b の端面 1 1 b と反射鏡 8 とで構成する外部共振器の共振器長を可変できるように半導体レーザ素子 1 の光学軸に沿って矢印 A の如く移動可能に構成されている。折り返し反射鏡 7 を移動することで共振器長を可変し、光パルスが共振器を往復する周期（繰り返し発振周波数）を変化させることができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 光計測においては、発振波長、繰り返し周波数、偏光状態、光出力強度等の高度の安定性が要求される。例えば、偏波面の状態を被測定回路の動作電圧に応じて変化させて偏波面の変化を検出する場合、偏波面が変動すると正確な測定ができなくなるので、偏波面が一定に保たれている必要がある。また、時系列に沿ったサンプリグを行うためには、繰り返し周波数が安定しているサンプリグパルスが必要となる。例えば、1 GHz の繰り返し周波数で、その揺らぎを数十 Hz オーダー以下とする場合、 $10^{-7} \sim 10^{-8}$

のオーダーの周波数安定度が必要である。さらに、被測定光（被測定信号）の繰り返し周波数の揺動に対してサンプリング光の繰り返し周波数を追従させることも必要である。しかし、図8に示した従来の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置ではこれらの対策が不十分で、温度変化に伴う共振器長変化でモード同期周波数が目的とする周波数から許容範囲を超えて大きく変化する。

【0007】1GHz以下の繰り返し周波数（モード同期発振周波数）を有するモード同期半導体レーザ装置では、十数cm～数十cmの外部共振器が必要である。図8に示す外部共振器構成のモード同期半導体レーザ装置では、自由空間の光路を用いているために共振器長が長く、例えば、繰り返し周波数が1GHzの場合、共振器長は15cm、250MHzの場合は60cmにもなり、光路を狭い空間に納めるのが難しく、小形化が難しく、サイズの大きな筐体が必要になる。この結果、僅かの振動や歪みでも部品の位置が大きく変位し、温度変化や機械的振動の影響を受けやすく、発振波長、繰り返し周波数、偏光状態、光出力強度等が許容範囲を超えて変動して、長時間の高安定動作が難しい。さらに、共振器長が長いのに加えて、折り返し反射鏡7を有しているため、共振器の光軸調整等の光学整合や取り扱いが煩雑で困難であると共に、外部共振器型モード同期半導体レーザ装置を計測装置に組み込む場合、計測装置全体のサイズを大きくすることにもなる。

【0008】本発明は、外部共振器型モード同期半導体レーザの小形化を図り、温度変化や機械的振動に強く、発振波長、繰り返し周波数、偏波面等の安定性に優れ、長時間安定に動作し、且つ、発振波長可変、繰り返し周波数可変の、光計測に適した外部共振器型モード同期半導体レーザ装置を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、半導体レーザ素子と、前記半導体レーザ素子に光結合し、着脱自在に設けた偏光保存光ファイバとで共振器を構成し、共振器内に波長選択素子と光路長調整器とを備え、モード同期発振周波数が1GHz以下となるように偏光保存光ファイバの長さが設定されていることを特徴とする外部共振器型モード同期半導体レーザ装置である。

【0010】本発明のもう1つの外部共振器型モード同期半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子と、一方の端面を前記半導体レーザ素子の一方の端面に光結合し、他方の端面を前記半導体レーザ素子の他方の端面に光結合して着脱自在に設けた偏光保存光ファイバとでリング共振器を構成し、前記リング共振器内に波長選択素子と光路長調整器と前記リング共振器から出力光を取り出す手段とを備え、モード同期発振周波数が1GHz以下となるように前記偏光保存光ファイバの長さが設定されていることを特徴とする構成である。

【0011】上記外部共振器型モード同期半導体レーザ

装置の何れも、半導体レーザ素子と偏光保存光ファイバとを同一の筐体に収納しているが、半導体レーザ素子と偏光保存光ファイバとを別々の筐体に収納し、これら2つの筐体を互いに着脱自在に結合した構成とすると、結合した筐体の何れか一方を交換することで、発振波長やモード同期発振周波数（繰り返し周波数）を容易に変更できる。2つの筐体を結合する構造は、半導体レーザ素子を収納した筐体と偏光保存光ファイバを収納した筐体を上下に着脱自在に結合する構造、或いは、2つの筐体を互いに側面で着脱自在に結合した構造の何れでもよい。半導体レーザ素子と偏光保存光ファイバとを別々の筐体に収納した構成は、半導体レーザ素子と偏光保存光ファイバとを独立に温度調整でき、温度制御の精度が向上し、安定性のよい外部共振器型モード同期半導体レーザ装置が得られる。

【0012】さらに、本発明の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置に用いる半導体レーザ素子を、電流注入により発光・光増幅する利得領域に加え、入射光強度の増加に伴い光吸収が減少する可飽和吸収領域を有する構成にすると、パルス幅の狭い光パルスが得られる。

【0013】本発明の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置においては、モード同期用の高周波電圧印加手段と発光・光増幅のための電流注入手段により、半導体レーザ素子1にモード同期周波数の高周波電圧印加と発光・光増幅のための電流注入が行われ、モード同期レーザ発振する。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置は、図1に示すように、半導体レーザ素子1と、コリメートレンズ2a、2bと、波長選択素子3と、光路長調整器4と、集光レンズ5と、光学部品（コリメートレンズ、波長選択素子、光路長調整器、集光レンズ等を総称して光学部品と記す）を介して半導体レーザ素子1に光学的に結合された偏光保存光ファイバ6とを有し、半導体レーザ素子端面11bと偏光保存光ファイバの端面（高反射率端面）6bとで共振器を構成している。半導体レーザ素子1には発光・光増幅のための電流注入と高周波電源120によるモード同期周波数の高周波電圧印加とが行われる。

【0015】電流注入とモード同期周波数の高周波電圧印加により半導体レーザ素子1で発生したレーザ光100は、共振器端面6b、11bで反射し、周期T（ $T = 2L/c$ 、Lは真空長換算の共振器長、cは光速）で共振器内を繰り返し往復することで光増幅され、その周期Tに同期した繰り返し周波数（モード同期周波数） f （ $f = c/2L$ ）でレーザ発振し、一部が共振器端面（本実施形態では半導体レーザ素子端面11b）を透過して出力される。

【0016】半導体レーザ素子1はどのような構造のものでもよい。本実施形態の半導体レーザ素子1は、電流注

入により発光・光増幅に与る利得領域 1 a と、光強度の増加に伴い光吸収が減少する可飽和吸収領域 1 b とを有し、利得領域 1 a の活性層と可飽和吸収領域 1 b の可飽和吸収層はバンドギャップ波長が 1.55 μm 組成の $\text{InGaAs}/\text{InGaAsP}$ 多重量子井戸構造（バルクの活性層、可飽和吸収層でもよい）で構成し、ストライプ状の活性層並びに可飽和吸収層の両側に電流ブロック層が設けられた埋め込み構造になっている。利得領域 1 a 及び可飽和吸収領域 1 b の各端面 11 a、11 b には誘電体多層膜、例えば、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 多層膜或いは Si/SiO_2 多層膜がコーティングされて、可飽和吸収領域側の端面 11 b が高反射率面、利得領域側の端面 11 a が低反射率面（無反射端面）になっている。高反射率面の反射率 R_1 は $R_1 \approx 0.8$ 程度、低反射率面の反射率 R_2 は $R_2 \leq 10^{-4}$ 程度に設定されている。利得領域 1 a と可飽和吸収領域 1 b には相互に独立に電力の供給が可能に電極（図示省略）が設けられて、これら電極を介して利得領域 1 a に直流電流が、可飽和吸収領域 1 b に逆バイアス電圧及びモード同期周波数のモード同期用高周波信号が供給される。可飽和吸収領域 1 b に電力を供給せずに、利得領域 1 a のみにモード同期周波数で変調した電流を注入する構成にしてもよい。また、可飽和吸収領域を設けずに、利得領域のみから成る半導体レーザ素子を用いた場合は、利得領域に注入する電流に重畳して高周波信号を印加する構成となる。

【0017】可飽和吸収領域 1 b は、光パルスが入射されるとその前半部（低光強度の部分）は吸収し、光パルスのピーク近傍（高光強度の部分）では吸収が飽和するためそのまま通過させる。この結果通過する光パルスの急峻化が行われ、光パルスが可飽和吸収領域 1 b を通過するたびに急峻化されて狭い光パルスを得ることができる。また、可飽和吸収領域 1 b の自己吸収変調効果によりレーザ発振縦モード間の位相が同期する。この可飽和吸収領域 1 b に高周波信号を供給すると、モード同期による光パルス発生タイミングが供給された高周波信号に同期する。

【0018】波長選択素子 3 は、一例としてファブリー・ペロエタロン（以下、エタロンと記す）で構成されている。図 1 に示すように、エタロンは石英やガラスの平行平板の両面に誘電体多層膜或いは金属膜を形成して互いに対向する 2 つの面の反射率を高めた構成になっていて、所定間隔で平行に対向配置された 2 つの反射面の反射率と間隔により決定される波長間隔で透過率が最大となる。このエタロンを光軸に対して傾けることによって透過率が最大となる波長を制御して、レーザ光の波長を任意の波長に設定する。

【0019】上記の構成に替えて、2 枚の平面鏡を、圧電素子を間に挟んで貼り合わせてエタロンを構成すると、圧電素子に電圧を印加することで平面鏡間の距離を

る。また、2 枚の平面鏡の間に液晶を挟んでエタロンを構成した場合、液晶に電圧を印加することにより、液晶の屈折率を変えることができるので、印加電圧を制御することで透過率が最大となる波長を制御できる。

【0020】光路長調整器 4 は、光ファイバ長さの誤差を補償するために設けたもので、図 1、図 2 (a) に示す如く、石英やガラス等の透明な材質から成る 2 つの楔形のプリズム 21、22 で構成されている。これら 2 つの楔形プリズム 21、22 は屈折率が等しく、同じ頂角を有し、傾斜面 21 a、22 a 同士を互いに対向或いは接触させ、垂直面 21 b、22 b を光軸 20 に対して直角に配置され、矢印方向に移動可能になっている。楔形プリズム 21、22 の移動により、レーザ光が通過する部分の厚さ d_1 、 d_2 が変化して、その部分の光路長が変化する。この結果、光ファイバ長さの誤差を光路長調整器 4 で補償することができる。

【0021】図 2 (b) に、もう 1 つの光路長調整器 4 の例を示す。この光路長調整器 4 は、2 つの二等辺直角プリズム 23、24 から成り、これら 2 つの二等辺直角プリズム 23、24 は、それぞれ、直角に組み合わせられた反射面 23 a、23 b、24 a、24 b を有している。これら 2 つの二等辺直角プリズムの内的一方の二等辺直角プリズム（第 1 二等辺直角プリズム）23 は、斜辺（底辺）23 c を光軸 20 に平行にして光軸上に固定されている。もう一方の二等辺直角プリズム（第 2 二等辺直角プリズム）24 は、その底辺 24 c が光軸上に固定された第 1 二等辺直角プリズム 23 の頂角 A に対向し、且つ、第 1 二等辺直角プリズム 23 の底辺 23 c に平行に配置され、矢印の方向に移動可能、即ち、光軸 20 に直交する方向に移動可能になっている。第 2 二等辺直角プリズム 24 が矢印方向に移動することで、2 つの二等辺直角プリズム間の距離が調整され、光路長が調整される。第 2 二等辺直角プリズム 24 の変位 δ に対して光路長は 2δ 変化する。この光路調整器に入射したレーザ光 100 は、図に示す如く、反射面 23 a、24 a、24 b、23 b を経由して偏光保存光ファイバ 6 に出射する。

【0022】光導波路を形成する偏光保存光ファイバ 6 は、一方の端面が誘電体多層膜や金属膜が被着された高反射率端面 6 b で、他方の端面 6 a が誘電体多層膜から成る無反射コーティング（反射防止膜）が施されている。反射防止膜が施された端面（無反射端面）6 a は光学部品（コリメートレンズ、波長選択素子、光路長調整器、集光レンズを総称して光学部品と記す）を介して半導体レーザ素子 1 の低反射率端面（利得領域側の端面）11 a に光学的に結合され、高反射率端面 6 b と半導体レーザ素子 1 の高反射率端面（可飽和吸収領域側の端面）11 b とでファブリー・ペロ型の共振器を構成している。かかる構成において、半導体レーザ素子 1 の高反射率端面 11 b と偏光保存光ファイバ 6 の高反射率端面

10

20

30

40

50

6b との距離が共振器長となり、モード同期発振の繰返し周波数が 1 GHz 以下になるようにファイバ長が設定されている。例えば、繰返し周波数が 1 GHz の場合は 15 cm、500 MHz の場合は 30 cm、250 MHz の場合は 60 cm にファイバ長が設定され、さらに低い繰返し周波数が必要な場合は、さらに長い偏光保存光ファイバを用いる構成になる。

【0023】偏光保存光ファイバ 6 は、図 3 に示すように、リング状に巻かれて半導体レーザ素子 1 等その他の光学部品と共に 1 つの筐体 17 に収められ、コンパクトな構成の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置を構成している。このように、偏光保存光ファイバをリング状に巻いて半導体レーザ素子等その他の部品と共にケースに収めると従来よりもコンパクトになり、空間的な温度揺らぎの影響が小さく、従来よりも特性が安定するので、温度調節しなくてもよいが、本実施形態では筐体内に温度制御素子を具備して温度調節し、安定性をさらに高めている。なお、図 3 (a) は筐体の蓋を開けた状態の平面図、(b) は (a) の A-A' 線に沿う断面図である。

【0024】大きさが数 cm × 数 cm、厚さ数 mm の熱伝導率のよい、例えば、窒化アルミニウム (AlN) 等のセラミック基板 14 (あるいは金属基板) が筐体内に設置・固定され、セラミック基板 14 上に、例えば、シリコンや銅タングステン (CuW)、ステンレス等で成る基板 13 と偏光保存光ファイバ 6 が載置・固定されている。CuW 基板 13 上には、半導体レーザ素子 1、コリメートレンズ 2a、2b、波長選択素子 3、光路長調整器 4、集光レンズ 5 が互いに光軸を一致させて搭載・固定されている。半導体レーザ素子 1 はヒートシンク 12 を介して CuW 基板上に固定されている。偏光保存光ファイバ 6 は無反射コーティングが施された先端部が光コネクタ 16a を介して CuW 基板 13 に着脱自在に装着されて、光学部品を介して半導体レーザ素子 1 と光学的に結合されている。残余の部分はリング状に巻かれてセラミック基板 14 に固定部材 (図示省略) により着脱可能に固定されている。セラミック基板 14 は温度制御素子 15、例えばペルチエ素子上に載置されて、半導体レーザ素子 1 をはじめとする各部品の温度およびその周囲の筐体内の温度、即ち、共振器の温度が一定になるようコントロールされ、共振器長、発光強度、発振波長等の安定化が図られている。モード同期光出力は半導体レーザ素子 1 の可飽和吸収領域 1b の高反射率端面 11b (図 1 参照) から取り出す構成で、半導体レーザ素子 1 の出力側面 (高反射率端面側) の筐体側面には、外部ファイバと接続して出力光パルス列を取り出せるように、光コネクタ 16b が設けられている。光コネクタ 16b と半導体レーザ素子 1 との間に光アイソレータ (図示省略)、コリメートレンズ 2b が設けられている。かかる構成によれば、例えば繰返し周波数 250 MHz でモ

ード同期発振させるには、光路長が 60 cm の共振器長が必要となるが、偏光保存光ファイバ 6 をリング状に巻いてセラミック基板 14 に固定しているので、筐体 17 の大きさが最長で 10 cm 程度となりコンパクトな構成になっている。また、偏光保存光ファイバ 6 が光コネクタ 16a を介して着脱自在に取り付けられているので、長さの違う偏光保存光ファイバに容易に交換でき、繰返し周波数の変更が容易に行える。

【0025】偏光保存光ファイバ 6 の無反射コーティングが施された先端部を、光コネクタ 16a を介して CuW 基板 13 に着脱自在に装着した構成に替えて、保持部材で無反射コーティングが施された先端部を挟んで偏光保存光ファイバ先端部を CuW 基板 13 に着脱自在に固定しても良い。この場合、CuW 基板 13 や保持部材に V 溝を設けると偏光保存光ファイバの位置決めが容易となる。また、保持部材はネジ等で CuW 基板 13 やセラミック基板 14 に固定する構成とすればよい。

【0026】図 4 に本発明の第 2 の実施の形態を示す。この実施形態の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子 1 と偏光保存光ファイバ 6 を別々の筐体 17a、17b に収納した例である。

【0027】図 4 (a) (筐体側面を一部切り欠いた側面図) の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子 1 と結合光学系 110 (コリメートレンズ 2a、波長選択素子 3、光路長調整器 4、集光レンズ 5 で構成された部分) とをシリコン基板 13a を介して温度制御素子 15 (ペルチエ素子) 上に載置・固定して 1 つの筐体 17a (第 1 の筐体) に収納し、偏光保存光ファイバ 6 をリング状に巻いてセラミック基板 14 を介して温度制御素子 15 (ペルチエ素子) 上に載置・固定して別の筐体 17b (第 2 の筐体) に収納して、これら 2 つの筐体 17a、17b を着脱可能に重ね合わせ、固定した重箱構造である。第 1 の筐体 17a の上面と第 2 の筐体 17b の底面にはそれぞれ光コネクタ 18a、18b が設けられており、筐体 17a、17b を重ね合わせて結合した際にこれら光コネクタ 18a、18b が嵌合し、偏光保存光ファイバ 6 と半導体レーザ素子 1 が光学的に結合する。半導体レーザ素子 1 と光コネクタ 18a との光学的結合には、一端が保持部材 190 でシリコン基板 13a に固定され、他端が光コネクタに接続している接続用の短い偏光保存光ファイバ 19 を用いている。また、図 4 (b) に示すように、筐体側面にそれぞれ光コネクタ 18a、18b を設け、筐体 17a、17b を重ね合わせて結合した際にこれら光コネクタ 18a、18b を接続用の短い偏光保存光ファイバ 19a で接続した構成としてもよい。

【0028】図 4 (c) の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置は、2 つの筐体 17a、17b を筐体側面に着脱自在に結合した構成である。この場合、接合面となる側面にそれぞれ光コネクタ 18a、18b を設け、

筐体 17a、17b を結合したときに光コネクタ同士が嵌合し、偏光保存光ファイバ 6 と半導体レーザ素子 1 が光学的に結合する構成になっている。なお、上記

(a)、(b)、(c) 何れの場合も 2 つの筐体間はネジやクランプ等 (図示省略) で固定している。

【0029】第 2 実施形態においては、半導体レーザ素子 1 や光学部品の配置を考慮することなく偏光保存光ファイバ 6 を筐体内に収納できるので、繰り返し周波数が低く共振器長が長い場合に特に有効な構成である。また、異なる発振波長の半導体レーザ素子 1 を収納した筐体 17a やファイバ長の異なる偏光保存光ファイバ 6 が収納された筐体 17b を多数用意すれば、筐体を取り替えるだけで繰り返し周波数や発振波長を容易に変更できる。

【0030】上記何れの実施形態においても、出力光は半導体レーザ素子端面から取り出したが、偏光保存光ファイバ端面 (高反射率端面 6b) から光出力を取り出す構成としてもよい。この場合、半導体レーザ素子 1 を収納した筐体 17a ではなく、偏光保存光ファイバ 6 を収納した筐体 17b に出力用の光コネクタを設け、偏光保存光ファイバ 6 の高反射率端面 6b を筐体 17b に設けた出力用の光コネクタに接続した構成にすればよい。半導体レーザ素子 1 の高反射率端面側に設けたコリメートレンズ 2b (図 1 参照) は不要となる。

【0031】図 5 に本発明の第 3 の実施の形態を示す。この外部共振器型モード同期半導体レーザ装置は、リング共振器構造とした例である。

【0032】本実施形態の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置は、図 5 に示すように、両端面に誘電体多層膜 (例えば、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$) による無反射コーティングを施した半導体レーザ素子 1 と、コリメートレンズ 2a、2b と、波長選択素子 3 と、光路長調整器 4 と、集光レンズ 5a、5b と、偏光保存光ファイバ 6 と、光アイソレータ 9 とを有し、これら部品が、第 1 実施形態と同様に、基板上 (図示省略、必要なら図 3 参照) に載置・固定され、温度制御素子 (図示省略、必要なら図 3 参照) と共に筐体内 (図示省略、必要なら図 3 参照) に収納されて温度制御されたコンパクトな構成になっている。偏光保存光ファイバ 6 は、繰り返し発振周波数が 1 GHz 以下になる長さに設定され、その両端面は、半導体レーザ素子 1 と同様、無反射コーティングが施され、その一方の端面がコリメートレンズ 2a、波長選択素子 3、光路長調整器 4、集光レンズ 5a を介して半導体レーザ素子 1 に光学的に結合され、他方の端面がコリメートレンズ 2b、集光レンズ 5b を介して半導体レーザ素子 1 に結合されてリング共振器を構成している。リング共振器中には光アイソレータ 9 が設けられ

(共振器中の設置位置はどこでもよい)、時計回り進行波、反時計回り進行波の共振モードの内の何れか一方の進行波共振モード (本実施形態は時計回りの進行波共振

モードを選択) のみが発振するようになっている。光パルスを外部に取り出す手段は偏光保存光ファイバ 6 の中程に取り出し用光ファイバ 60 を接触させて設けた方向性光結合器 10 を用いている。また、方向性光結合器 10 に替えて Y 分岐からなる光分波器を用いて光パルスを外部に取り出す構成、或いは、リング共振器中に半透明鏡を設けてこの半透明鏡から取り出す構成としてもよい。なお、本実施形態では光アイソレータ 9 を共振器中に設けたが、この光アイソレータ 9 を設けない構成としてもよい。

【0033】半導体レーザ素子 1 は、第 1 実施形態と同様のものでもよいが、本実施形態においては、図 6 に示すように、2 つの利得領域 1a とその間に挟まれた可飽和吸収領域 1b を有するものを用いている。可飽和吸収領域 1b には、第 1 実施形態と同様、逆バイアスと高周波電圧 (周回するレーザ光に同期した変調信号) が印加され、利得領域 1a には直流電流が注入される。

【0034】利得領域 1a への電流注入によって発生した光は、可飽和吸収領域 1b で変調された光となって出力され、光学部品、偏光保存光ファイバ 6 等で構成されたリング共振器を周回する。周回した光が半導体レーザ素子 1 に入射した際に、可飽和吸収領域 1b に印加した高周波信号により、その光がリング共振器を一周する時間またはその整数分の一の周期で変調を受けて周回周期に同期した繰り返し周波数の短光パルスに成長する。この短光パルスが方向性光結合器 10 で取り出し用偏光保存光ファイバ 60 に分岐され、取り出し用偏光保存光ファイバ 60 から出力光パルス列となって出力される。

【0035】上記の構成に替えて、第 2 実施形態 (図 4) のように、半導体レーザ素子 1 と偏光保存光ファイバ 6 とを別々の筐体 17a、17b に収納し、これら 2 つの筐体 17a、17b を着脱自在に接合した構成としてもよい。この場合、図 7 に示すように、半導体レーザ素子 1 と偏光保存光ファイバ 6 を光学的に結合するための光コネクタ 18a、18b が第 2 実施形態の場合よりも 1 つずつ加え、偏光保存光ファイバを収納した筐体 17b に光出力用の光コネクタ 16b を設けた構成になる。なお、図 7 の例は、2 つの筐体 17a、17b を上下に重ね合わせる構成であるが、この構成に替えて、図 4 (c) のように、2 つの筐体を側面で着脱可能に接続する構成としてもよい。

【0036】上記何れの実施の形態も、可飽和吸収領域を有する半導体レーザ素子を用いたが、可飽和吸収領域のない利得領域のみの半導体レーザ素子でもよい。この場合は利得領域に注入する電流にモード同期周波数の電流を重ねればよい。さらに、実施形態の半導体レーザ素子に替えて、分布帰還型 (DFB) 半導体レーザ素子、分布ブラッグ反射型 (DBR) 半導体レーザ素子、変調器を集積化した半導体レーザ素子 (変調器にモード同期周波数の高周波電圧を印加する) 等を用いてもよ

い。なお、DFB半導体レーザ素子やDBR半導体レーザ素子を用いた場合は、波長選択素子は不要となる。

【0037】

【発明の効果】本発明は、外部共振器を構成する光導波路に偏光保存光ファイバを用いているので偏光状態が一定に保たれる。また、長尺の偏光保存光ファイバをリング状に巻いて半導体レーザ素子等その他の部品と共に筐体に収め、温度調節しているので、筐体は大きくても20cm程度となり、共振器長が長くてもコンパクトになる。このように、従来のものよりも狭い空間に全ての部品が納められているので、空間的な温度分布揺らぎの影響が小さいのに加え、温度制御する空間が狭いので、精密な温度調節ができる。この結果、温度制御の精度が向上し、レーザ発振波長、繰り返し周波数、偏光状態、発光光強度等の特性が機械的振動や周囲の温度変動、部品を設置した基板の歪みに対して安定で、信頼性が向上する。

【0038】また、従来は、外部共振器の光導波路に自由空間の長い光路を利用しているため、僅かの振動や歪みでも共振器の反射鏡位置が大きく変位し、光軸がずれて特性が変動するが、本発明は、光導波路に光ファイバを用いているため、共振器の反射面となる光ファイバ端面位置が変動しても、光ファイバを伝搬する光は確実にファイバ端面に達するから、従来と異なり、振動や、基板の歪みに対しても安定な特性が得られる。

【0039】さらに、本発明は、波長選択素子と光路長調整器とを備え、且つ、光ファイバが交換可能な構造になっているので、発振波長や繰り返し周波数の微調整ができると共に、種々のファイバ長の光ファイバと発振波長の異なる種々の半導体レーザ素子の組み合わせが自在にでき、繰り返し周波数の変更や発振波長の変更が容易に行える。

【0040】特に、半導体レーザ素子と光ファイバとを別々の筐体に収納した構造では、それぞれの筐体毎に独立に温度制御できるので、さらに精密な温度管理が実現でき、より安定な装置が得られる。また、光コネクタは嵌合するだけで接続でき、ネジやクランプ等で筐体が固定できて筐体の着脱も容易であるので、1つの筐体に全ての部品を収納した場合よりも容易に繰り返し周波数や発振波長を容易に変更できる。

【0041】以上のように、本発明は共振器長が長く、小型、且つ、高安定な外部共振器型モード同期半導体レーザ装置を得ることができる。また、偏光保存光ファイバを用いて共振器長が長い共振器を構成し、1GHz以下の低い繰り返し周波数を実現しているので光計測に適している。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置の概略構成図。

【図2】 光路長調整器の概略図。

【図3】 第1の実施の形態を示す図。(a)は平面図、(b)は(a)のAA'線に沿った断面図。

【図4】 第2の実施の形態を示す側面図。

【図5】 第3の実施の形態を示す概略図。

【図6】 第3の実施の形態で用いた半導体レーザ素子の概略側面図。

【図7】 第3の実施の形態の側面図。

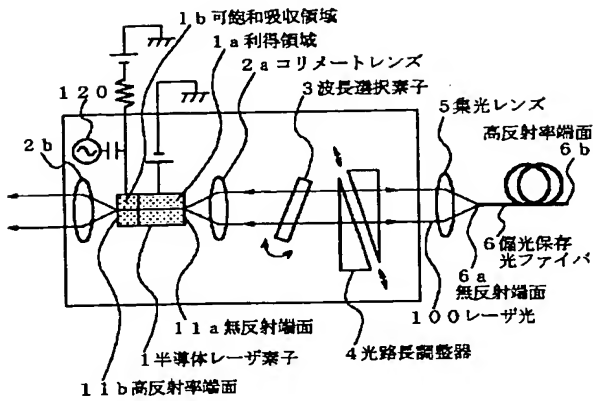
【図8】 従来の外部共振器型モード同期半導体レーザ装置の概略構成図。

【符号の説明】

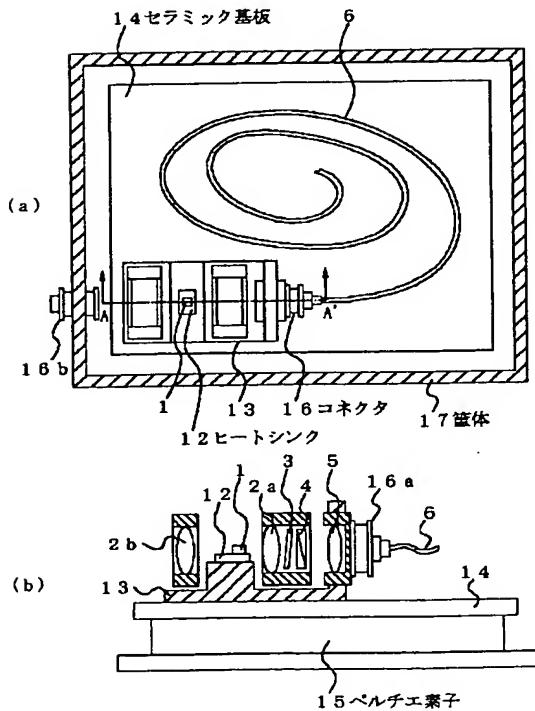
- | | |
|------|----------------------|
| 1 | 半導体レーザ素子 |
| 1 a | 利得領域 |
| 1 b | 可飽和吸収領域 |
| 2 a | コリメートレンズ |
| 2 b | コリメートレンズ |
| 3 | 波長選択素子 |
| 4 | 光路長調整器 |
| 5 | 集光レンズ |
| 5 a | 集光レンズ |
| 5 b | 集光レンズ |
| 6 | 偏光保存光ファイバ |
| 6 a | 無反射端面 |
| 6 b | 高反射率端面（共振器端面、ファイバ端面） |
| 7 | 折り返し反射鏡 |
| 8 | 反射鏡 |
| 9 | 光アイソレータ |
| 10 | 方向性光結合器 |
| 11 a | 無反射端面 |
| 11 b | 高反射率端面 |
| 12 | ヒートシンク |
| 13 | CuW基板 |
| 14 | セラミック基板 |
| 15 | 温度制御素子 |
| 16 a | 光コネクタ |
| 16 b | 光コネクタ |
| 17 | 筐体 |
| 17 a | 筐体 |
| 17 b | 筐体 |
| 18 a | 光コネクタ |
| 18 b | 光コネクタ |
| 19 | 接続用光ファイバ |
| 19 a | 接続用光ファイバ |
| 20 | 光軸 |
| 21 | 楔形プリズム |
| 21 a | 傾斜面 |
| 21 b | 垂直面 |
| 22 | 楔形プリズム |
| 22 a | 傾斜面 |
| 22 b | 垂直面 |
| 23 | 二等辺直角プリズム |

- 23 a 反射面
- 23 b 反射面
- 23 c 底辺
- 24 二等辺直角プリズム
- 24 a 反射面
- 24 b 反射面

【図 1】

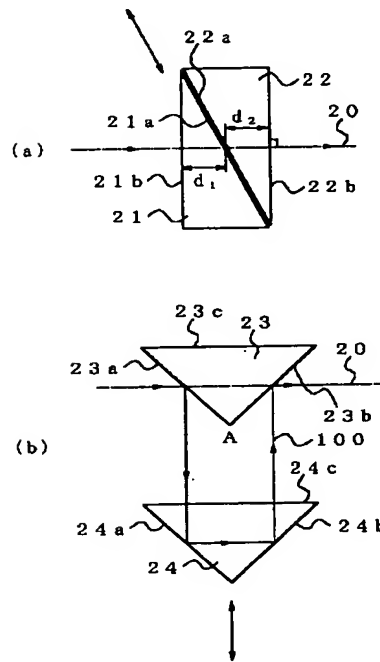


【図 3】

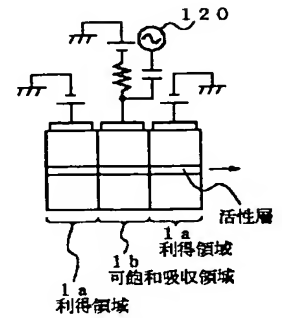


- 24 c 底辺
- 60 取り出し用光ファイバ
- 100 レーザ光
- 110 結合光学系
- 120 モード同期用高周波電源
- 190 保持部材

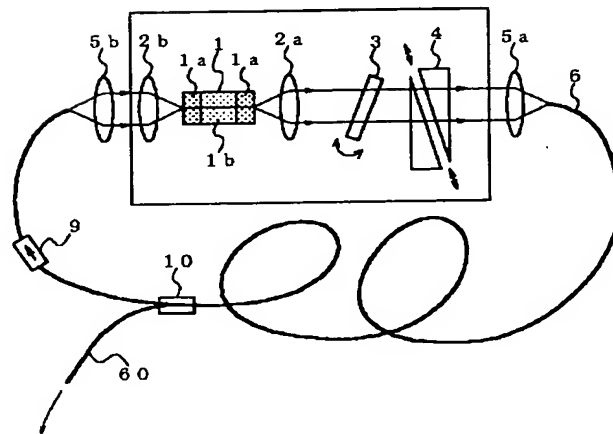
【図 2】



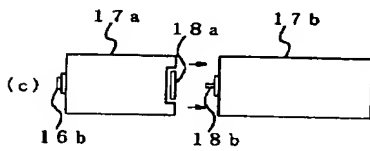
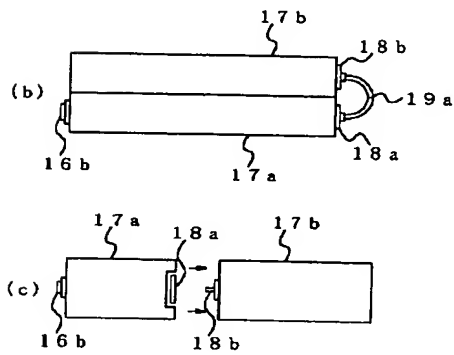
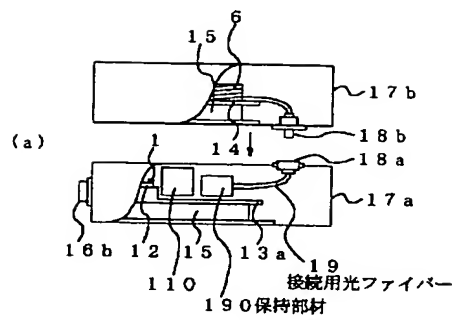
【図 6】



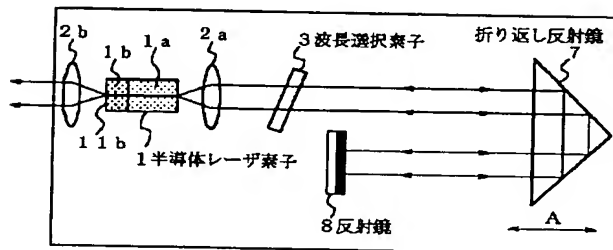
【図 5】



【図4】



【図8】



【図7】

